

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 43 481 A 1

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G 01 N 29/04

②① Aktenzeichen: 195 43 481.1  
②② Anmeldetag: 22. 11. 95  
②③ Offenlegungstag: 28. 5. 97

⑦① Anmelder:

Pipetronix GmbH, 76297 Stutensee, DE;  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:

Lichti und Kollegen, 76227 Karlsruhe

⑦② Erfinder:

Willems, Herbert, 66809 Nalbach, DE; Barbian,  
Otto-Alfred, 66440 Blieskastel, DE; Hübschen,  
Gerhard, Dr.rer.nat., 66740 Saarlouis, DE

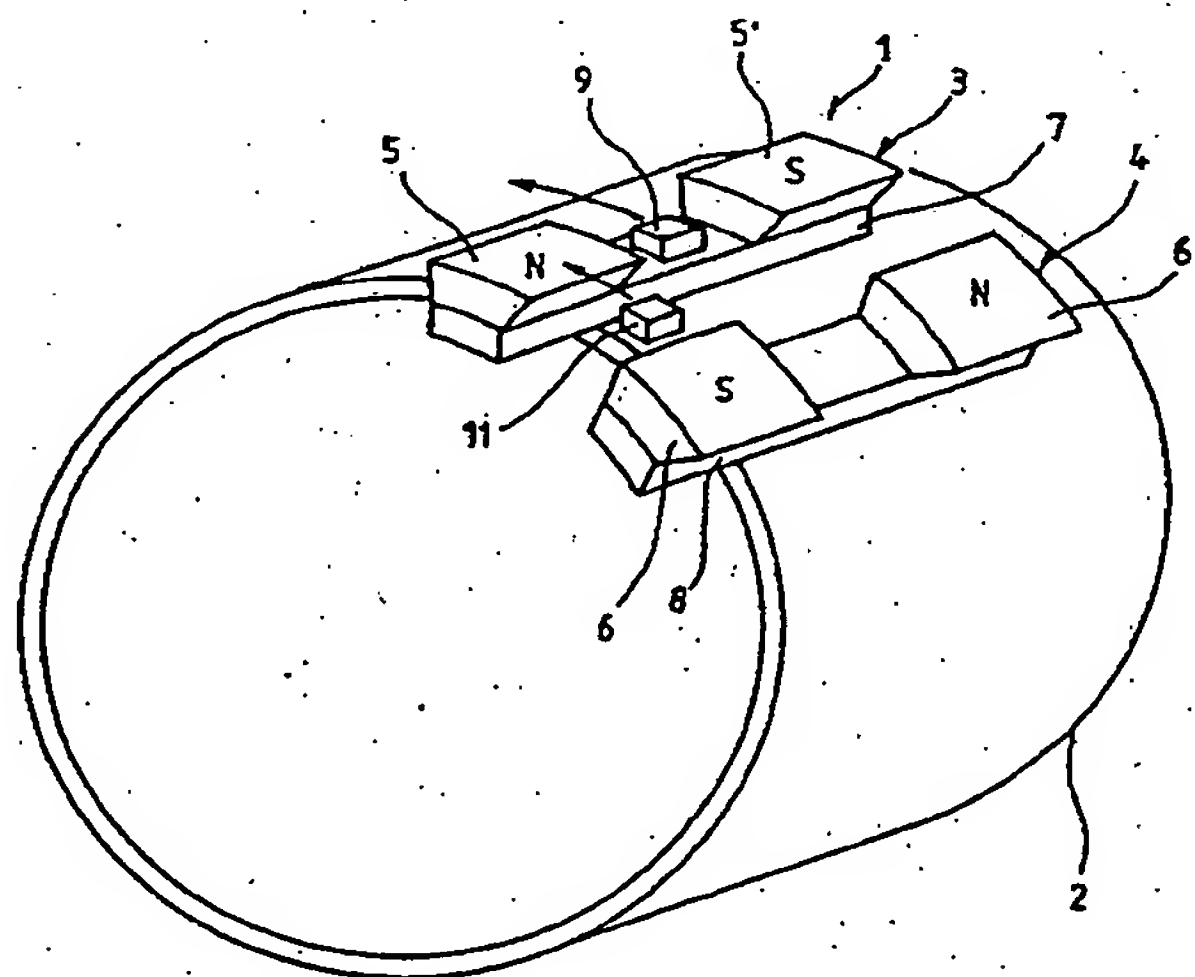
⑤⑥ Entgegenhaltungen:

DE	41 01 942 C2
DE	42 23 470 A1
DE	36 14 089 A1
DE	35 11 076 A1
DE	31 28 825 A1
US	44 66 287
US	44 34 663
US	43 95 913
US	42 32 557
EP	06 09 754 A2

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung zur Prüfung von ferromagnetischen Materialien

⑤⑦ Eine Vorrichtung 1 zur Prüfung ferromagnetischer Materialien 2, wie Rohrleitungen oder dergleichen, auf Fehler, Risse, Korrosion oder dgl., mit einer in Verbindung mit einem Magnetfeld als elektromagnetischer Ultraschallwandler dienenden Hochfrequenz-Stromspule zur Anregung und/oder Detektion von Ultraschallwellen in der Materialwandung 2 zeichnet sich dadurch aus, daß der elektromagnetische Ultraschall-Wandler (9, 11, 12, 17, 23, 31, 42) mittig zwischen den beiden Polbereichen (5, 5', 6, 6', 14, 14') einer Magnetisierungseinheit (3, 4, 15) angeordnet ist.



DE 195 43 481 A 1

DE 195 43 481 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BEST AVAILABLE COPY

BUNDESDRUCKEREI 04. 97 702 022/52

14/22

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Prüfung von ferromagnetischen Materialien, wie Rohrleitungen oder dergleichen, auf Fehler, Risse, Korrosion oder dgl., mit einer in Verbindung mit einem Magnetfeld als elektromagnetischer Ultraschallwandler dienenden Hochfrequenzstromspule zur Anregung und/oder Detektion von Ultraschallwellen in der Materialwandung.

Eine zerstörungsfreie Werkstoffprüfung kann mittels Ultraschall erfolgen, bei der piezoelektrische Schwinger eingesetzt werden, von denen Ultraschallwellen ausgehen und mittels eines Ankopplungsmediums wie z. B. Wasser in das Werkstück eingeleitet werden. Zur Prüfung von Gaspipelines mit Ultraschall auf beispielsweise rißartige Fehler an der Rohraußenseite kommt jedoch prinzipiell nur eine trockene Ankopplung an der Rohrrinnenseite, beispielsweise durch Luftschall, Ultraschallanregung mittels Laser oder die elektromagnetische Ultraschallanregung in Frage.

Aus der DE-OS 35 11 076 ist beispielsweise ein sogenannter Prüfmolch zur zerstörungsfreien Prüfung und Überwachung von Rohrleitungswandungen aus ferromagnetischem Material bekannt, bei dem zur Detektion von Wandschwächungen durch Rostfraß von außen oder innen und dgl. ein Magnetfeld, das dort von einem der Streufeld-Meßsysteme erzeugt wird, zur elektrodynamischen Anregung von Ultraschall und zur Streuflußmessung benutzt wird. Ein Molchglied ist mit gleichförmig am Umfang verteilten Elektromagneten versehen, die jeweils zwei in axialer Flucht zueinander liegende Meßköpfe, ein die Meßköpfe verbindendes Joch und eine Magnetisierungsspule auf diesen Meßköpfen aufweisen. Das Feld eines jeden Elektromagneten verläuft dabei parallel zur Rohrmittelachse. Zur Ultraschallmessung ist direkt an zumindest einem der Pole bzw. Magnetköpfe eine Luftspule angeordnet, die mit starken und sehr steilflankigen Stromimpulsen beaufschlagt wird. Die Laufzeit der durch diese Stromimpulse gemeinsam mit dem im Materialwandungsbereich wirksamen Magnetfeld im Material erzeugten Ultraschallwellen wird erfaßt und ausgewertet. Nachteilig beim Einsatz eines derartigen Prüfmolches ist das bei Bewegen des mit der Hochfrequenzspule versehenen Meßkopfes auftretende Barkhausen-Rauschen. Hierdurch ist der Signal-Rausch-Abstand zu gering, als daß eine zuverlässige Messung möglich wäre.

Bei anderen bekannten elektromagnetischen Ultraschallwandlern, die zur Ultraschallprüfung und zur Werkstoffcharakterisierung elektrisch leitfähiger Materialien eingesetzt werden, beispielsweise dem in der EP-A 0 609 754 beschriebenen, sind zumindest zwei Reihen von Permanentmagneten mit alternierender Polbelegung und einer darunter angeordneten HF-Spule zur Anregung von horizontal polarisierten Transversalwellen (SH-Wellen) vorgesehen. Auch bei diesen Ultraschallwandlern ist bei der dynamischen Prüfung ferromagnetischer Materialien ein erhöhter Rauschuntergrund, d. h. eine Verkleinerung des nutzbaren Dynamikbereiches festzustellen, da bei Bewegung der elektromagnetischen Ultraschallwandler über eine ferromagnetische Komponente ebenfalls das Barkhausen-Rauschen auftritt. Die Höhe dieses Rauschens beträgt je nach Abtastgeschwindigkeit bis zu 25 dB.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, unter Vermeidung der vorgenannten Nachteile eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, mittels der bei Bewegen der elektromagnetischen Ultra-

schallwandler über ferromagnetische Materialien das Barkhausen-Rauschen derart unterdrückt werden kann, daß ein ausreichender Signal-Rausch-Abstand erzielt wird.

Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe durch eine Vorrichtung zur Prüfung von ferromagnetischen Materialien der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler mittig zwischen den beiden Polbereichen einer Magnetisierungseinheit angeordnet ist. Der Ultraschallwandler bzw. die Hochfrequenz-Stromspule sitzt also nicht mehr entweder direkt auf einem Magnetkopf bzw. Polbereich einer herkömmlichen Magnetisierungseinheit zur Streuflußmessung auf oder ist unterhalb von zum Ultraschallwandler gehörenden Permanentmagneten mit alternierender Polbelegung angeordnet, sondern befindet sich zwischen den Polbereichen bzw. Polschuhen einer Magnetisierungseinheit. Durch diese erfindungsgemäße Anordnung wird eine horizontale Vormagnetisierung der zu überprüfenden Materialwandung erreicht. Da die Materialwandung durch den Einsatz der Magnetisierungseinheit bis in die Nähe der magnetischen Sättigung magnetisiert wird, erfolgt durch den Ultraschallwandler keine derartig starke Änderung des Magnetfeldes in der Materialwandung, daß bei Bewegen des Ultraschallwandlers die magnetischen Momente innerhalb der einzelnen Domänen ummagnetisiert, d. h. umgeklappt werden, wodurch ein das Barkhausen-Rauschen verursachender Strom induziert wird. Zur Aufnahme der Ultraschallwandler können zur Streuflußmessung vorgesehene Magnetisierungseinheiten verwendet werden.

Bevorzugt wird die durch die Polbereiche der Magnetisierungseinheit erzeugte Vormagnetisierung der Materialwandung zur Einstellung des Arbeitspunktes des elektromagnetischen Ultraschallwandlers verwendet.

In bevorzugter Ausgestaltung ist vorgesehen, daß die den elektromagnetischen Ultraschallwandler zwischen sich aufnehmenden Polbereiche bzw. Polschuhe der Magnetisierungseinheit achsparallel zum zu prüfenden Material, insbesondere einer Rohrleitung oder dgl., angeordnet sind. Derartige Magnetisierungseinheiten dienen dabei außer zur Vormagnetisierung gleichzeitig zur Detektion eines sich durch quer oder schräg zur Achsrichtung verlaufende Risse oder Öffnungen ergebendes Streufeld mittels entsprechender Sensoren. Es ist aber auch gleichermaßen oder aber gleichzeitig möglich, den elektromagnetischen Ultraschallwandler zwischen zwei Polbereichen einer Magnetisierungseinheit vorzusehen, die in Umfangsrichtung des zu prüfenden Materials, insbesondere einer Rohrleitung oder dgl., angeordnet ist. Durch derartige Magnetisierungseinheiten werden dann bei gleichzeitiger Vormagnetisierung Längsrisse in den Rohrleitungen bzw. in der Materialwandung erfaßt. Für die elektromagnetische Ultraschallanregung in der Materialwandung ist es lediglich erforderlich, daß eine Vormagnetisierung der zu untersuchenden Materialwände erfolgt ist. Ob dies in Axial- oder Umfangsrichtung geschieht, ist für die Messung nicht von Bedeutung.

In weiterer bevorzugter Ausgestaltung ist dabei vorgesehen, daß die elektromagnetischen Ultraschallwandler derart zur Magnetfeldrichtung zwischen den Polbereichen der Magnetisierungseinheit angeordnet werden, daß ihre Abstrahlrichtung senkrecht oder parallel zur Feldrichtung liegt.

Bei den elektromagnetischen Ultraschallwandlern zur Anregung von Transversalwellen kann es sich um Hochfrequenzspulen in Form von Luftspulen handeln, die zwischen den Polschuhen bzw. Polbereichen der



Magnetisierungseinheit angeordnet sind, wobei diese Luftspulen bevorzugt als Flachspulen mit mäanderförmig verlaufenden Wicklungen ausgebildet sind. Um insbesondere eine horizontal polarisierte Transversalwelle anzuregen, wird die Hochfrequenz-/Luftspule derart zwischen den Polbereichen angeordnet, daß die Drahtanteile mit der größten Längenausdehnung parallel zum horizontal verlaufenden Magnetfeld ausgerichtet sind. Bei dieser Ausführungsform dient die Streufluß-Magnetisierungseinheit also nicht nur zur Vormagnetisierung der Materialwandung und zur Detektion von längs und axial verlaufenden Rissen durch Messung des austretenden Streufeldes, sondern auch zur Anregung von horizontal polarisierten Transversalwellen in der Materialwandung.

Bei einer anderen Ausführungsform ist vorgesehen, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler zur Anregung von horizontal polarisierten Transversalwellen (SH-Wellen) eine Anordnung von Permanentmagnetsegmenten mit alternierender Polbelegung und zumindest eine unterhalb der Permanentmagnetsegmente angeordnete HF-Spule aufweist. Bei dieser Ausführung erfolgt die Anregung von horizontal polarisierten Transversalwellen in der zu untersuchenden Materialwandung allein durch den elektromagnetischen Ultraschallwandler selbst.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist dabei vorgesehen, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler eine Anordnung aus zwei Reihen von Permanentmagneten alternierender Polbelegung aufweist, auf die eine Rechteckspule gewickelt ist. Die Beaufschlagung dieser Rechteckspule mit Hochfrequenzströmen erzeugt in ferromagnetischen Materialien über Lorenzkräfte eine Teilchenauslenkung, die dann zu einer direkten Anregung von Ultraschallwellen mit einer zweiseitigen Richtcharakteristik führt, die bezüglich der Wandlermitte symmetrisch ausgerichtet ist. Da nun horizontal polarisierte Transversalwellen zu beiden Seiten des elektromagnetischen Ultraschallwandlers "abgestrahlt" werden, ist eine Zuordnung einzelner Signale zu einer Abstrahlrichtung, d. h. eine eindeutige Ortung eines auftretenden Materialfehlers bei fester Position des elektromagnetischen Ultraschallwandlers nicht möglich.

Bei einer anderen Ausführungsform ist daher vorgesehen, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler aus zumindest zwei Sätzen in ihrer Ausrichtung schachbrettmusterartig verteilter Permanentmagnete und jeweils unterhalb diesen angeordneten Hochfrequenzspulenelementen besteht. Bei dieser Ausführungsform wird also der Gesamt-Ultraschallwandler in einzelne Magnetsegmente sowie Hochfrequenzspulensegmente aufgeteilt, die bevorzugt zeitverzögert mit Signalen beaufschlagt werden. Dieser Wandler arbeitet nach dem Prinzip eines Phased Arrays. Durch diese bevorzugte Ausführungsform ist dann das gewünschte Vor-Rückverhältnis einstellbar.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler eine Anordnung aus zumindest vier Reihen von Permanentmagnetsegmenten aufweist, wobei zwei benachbarte Reihen von Permanentmagnetsegmenten jeweils um ein Viertel der Periodizität der einzelnen Permanentmagnete jeder Reihe entlang ihrer Längsachse verschoben sind und für jeweils benachbarte Permanentmagnetanordnungen eine eigene Hochfrequenzspule vorgesehen ist. Da die beiden Hochfrequenzspulen zueinander mit um 90° phasenverzögerten Signalen beaufschlagbar

sind, ist so die Ausbildung einer einseitigen Richtcharakteristik der horizontal polarisierten Transversalwellen hoher Güte mit einer hervorragenden Unterdrückung parasitärer Schallwellen im zu untersuchenden ferromagnetischen Material möglich. Die beiden auch hier bidirektional ausgestrahlten Wellen interferieren in der einen Richtung konstruktiv und löschen sich in der anderen Richtung aus. Auf diese Weise ist dann das gewünschte Vor-Rückverhältnis erzielbar, wozu in Weiterbildung beiträgt, daß die beiden Hochfrequenzspulen ineinander verschachtelt sind.

Während bei den vorhergehenden Ausführungsformen jeweils Luftspulen verwendet wurden, die unterhalb von Permanentmagnetsegmenten oder aber zwischen den Polbereichen der Magnetisierungseinheit angeordnet sind, zeichnet sich eine weitere Ausführungsform durch eine auf einen magnetisch leitfähigen Kern gewickelte Hochfrequenzspule aus. Bei dem Kern handelt es sich bevorzugt um einen Ringbandkern, der eine Anordnung mehrerer Reihen von Permanentmagneten alternierender Polbelegung teilweise umgibt. Bei dieser Ausführungsform werden die zur Schallanregung benötigten Wirbelströme indirekt in die Materialoberfläche durch die Einprägung dynamischer Hochfrequenz-Magnetfelder eingekoppelt.

Insgesamt ist so eine Vorrichtung zur elektromagnetischen Prüfung ferromagnetischer Materialien geschaffen, mittels der beim Einsatz von elektromagnetischen Ultraschallwandlern für horizontal polarisierte Transversalwellen an ferromagnetischen Komponenten bei Bewegung der Ultraschallwandler über den zu untersuchenden Prüfling das bisher auftretende Barkhausen-Rauschen zuverlässig zur Erzielung eines hohen Signal-Rauschabstandes unterdrückt wird.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der nachfolgenden Beschreibung, in der Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im einzelnen erläutert sind. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Anordnung von elektromagnetischen Ultraschallwandlern zwischen den Polschuhen einer Streufluß-Magnetisierungseinheit;

Fig. 2 in schematischer Darstellung eine einzelne mäanderförmig ausgebildete Hochfrequenzspule zwischen den Polschuhen einer Streufluß-Magnetisierungseinheit;

Fig. 3 einen Ultraschallwandler in einer Explosionsansicht mit zwei Reihen von Permanentmagnetsegmenten alternierender Polbelegung sowie einer darunter angeordneten Hochfrequenzspule;

Fig. 4 einen elektromagnetischen Ultraschallwandler mit drei Sätzen von Permanentmagnetsegmenten mit darunter angeordneten Hochfrequenzspulen in Explosionsansicht;

Fig. 5 einen elektromagnetischen Ultraschallwandler für senkrecht zur Einfallsebene polarisierte Transversalwellen mit einseitiger Richtcharakteristik in Explosionsansicht;

Fig. 6a einen elektromagnetischen Ultraschallwandler mit auf einen Ringbandkern gewickelter Hochfrequenzspule;

Fig. 6b den Wandler aus Fig. 6a in Seitenansicht;

Fig. 7 das Meßsignal eines elektromagnetischen Ultraschallwandlers ohne erfindungsgemäße Anordnung zwischen den Polbereichen einer Magnetisierungseinheit; und

Fig. 8 das Meßsignal der erfindungsgemäßen Vor-

richtung.

Die in Fig. 1 schematisch und lediglich teilweise dargestellte erfindungsgemäße Vorrichtung 1 ist im dargestellten Beispiel innerhalb einer ebenfalls nur teilweise dargestellten Rohrleitung mit einer Wandung 2 angeordnet. Die Vorrichtung weist dabei zwei Streufluß-Magnetisierungseinheiten 3, 4 mit jeweils zwei in achsparalleler Flucht zueinander liegenden Polschuhen 5, 5', 6, 6' auf, die jeweils über ein Joch 7, 8 miteinander verbunden sind. Mittig zwischen den Polschuhen 5, 5' der Magnetisierungseinheit 3 ist im horizontal verlaufenden Magnetfeld zwischen den Polschuhen 5, 5' ein elektromagnetischer Ultraschallwandler 9 (EMUS) angeordnet, der im dargestellten Ausführungsbeispiel eine senkrecht zur Magnetfeldrichtung verlaufende Abstrahlrichtung zur Ultraschallanregung in der Materialwandung 2 aufweist. Wie die Anregung in einem ferromagnetischen Material, wie einer Rohrwandung oder dgl., erfolgt, wird im weiteren Verlauf der Figurenbeschreibung genauer erläutert. Lediglich zur Verdeutlichung ist zwischen den Polschuhen 5, 6' der Magnetisierungseinheiten 3, 4 in Umfangsrichtung ebenfalls mittig zwischen den Polschuhen 5, 6' ein weiterer Wandler 11 angeordnet, der eine parallel zur Magnetfeldrichtung ausgerichtete Abstrahlrichtung aufweist.

Wie Fig. 2 zu entnehmen ist, kann der elektromagnetische Ultraschallwandler 12 durch eine mäanderförmig ausgebildete Hochfrequenzspule 13 gebildet sein, wobei diese im dargestellten Ausführungsbeispiel in Form einer flach ausgebildeten Luftspule 13 zwischen den Polschuhen 14, 14' der zugehörigen Streufluß-Magnetisierungseinheit 15 angeordnet ist. Diese Luftspule 13 ist dabei derart zwischen den Polschuhen 14, 14' angeordnet, daß die Drahtanteile 16 mit der größten Längenausdehnung parallel zum horizontal verlaufenden Magnetfeld ausgerichtet sind. Aufgrund dieser Ausrichtung ist die Erzeugung einer horizontal polarisierten Transversalwelle mittels des elektromagnetischen Ultraschallwandlers 12 möglich. Die Streufluß-Magnetisierungseinheit 15 dient dabei hier gleichzeitig zur Streufluß-Messung, zur Vormagnetisierung der zu untersuchenden Materialwandung sowie zur Anregung der genannten Transversalwelle.

Bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel weist der Ultraschallwandler 17 eine Magnetanordnung aus zwei Reihen 18 von Permanentmagneten 19 auf, auf denen eine Rechteckspule 20 angeordnet ist. Diese ist in der Explosionsansicht unterhalb der Magnetanordnung dargestellt. Die Beaufschlagung der Rechteckspule 20 mit Hochfrequenzströmen, deren Richtung zu einem beispielhaft gewählten, festen Zeitpunkt mit dem Bezugszeichen 21 bezeichnet ist, erzeugt dann in elektrisch leitfähigen Materialien, wie einer Rohrwandung, über Lorenzkräfte eine Teilchenauslenkung, die zu einer direkten Anregung von Ultraschallwellen führt. Die derart erzeugten Ultraschallwellen weisen eine zweiseitige Richtcharakteristik auf, die bezüglich der Wandlermitte symmetrisch ausgerichtet ist. Diese Wandlermitte ist anhand der Symmetrieebene hier mit dem Bezugszeichen 22 versehen. Da die erzeugten Ultraschallwellen symmetrisch zur Wandlermitte 22 nach beiden Seiten "abgestrahlt" werden, ist eine Auswertung der Empfangssignale erschwert, da eine Zuordnung einzelner Signale zu einer Abstrahlrichtung bei einer festen Position des Ultraschallwandlers 17 nicht erfolgen kann. Entsprechend ist eine eindeutige Ortung eines Materialfehlers nur durch Bewegen des elektromagnetischen Ultraschallwandlers möglich.

Bei dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel weist der elektromagnetische Ultraschallwandler 23 drei Sätze 24, 25, 26 in ihrer Ausrichtung schachbrettmusterartig verteilter Permanentmagnete 27 und jeweils unterhalb dieser angeordnete Hochfrequenzspulenelemente 28, 29, 30 auf. Die Hochfrequenzspulen 28, 29, 30 weisen im dargestellten Ausführungsbeispiel eine vierfache mäanderförmige Schleifenbildung auf und sind unterhalb der hier  $5 \times 3$  Permanentmagnete 27 angeordnet. Die Hochfrequenzspulen 28, 29, 30 dieses elektromagnetischen Ultraschallwandlers 23 werden jeweils zeitverzögert aktiviert. Hierdurch ist die Einstellung eines Vor-Rückverhältnisses im Gegensatz zur vorhergehenden Ausführungsform möglich.

Bei der in Fig. 5 dargestellten Ausführungsform weist der elektromagnetische Ultraschallwandler 31 sechs Reihen 32, 33, 34, 35 von periodisch angeordneten Permanentmagneten 36 auf. Dabei sind jeweils benachbarte Reihen 32 und 33 bzw. 32 und 35 bzw. 35 und 34 sowie 34 und 33 um die halbe Breite eines einzelnen Permanentmagneten 36 zueinander verschoben angeordnet. Wie Fig. 5 zu entnehmen ist, wiederholt sich die erste Reihe 32 beim dargestellten Ausführungsbeispiel nach genau vier Reihen.

An zwei Permanentmagnetanordnungen bzw. Reihen 33 und 35, deren einzelne Permanentmagnete 36 bezüglich einer Grundlinie 38 auf gleicher Höhe, jedoch mit unterschiedlicher Polarität zueinander angeordnet sind, ist eine Doppel-Rechteckspule 39 derart angebracht, daß von Reihe zu Reihe auch die Stromrichtung 40 alterniert. Auf die bei diesem Ausführungsbeispiel verbleibenden drei Reihen 32 und 34 wird eine zweite Doppel-Rechteckspule 39 verschachtelt zur ersten angebracht, bei der wiederum die Stromrichtung von Magnetreihe zu Magnetreihe alterniert. Die beiden Hochfrequenzspulen 39, 39' werden im Sendefall mit zueinander um  $90^\circ$  phasenverschobenen Sendestromsignalen betrieben.

Mittels dieses elektromagnetischen Ultraschallwandlers 31 kann eine einseitige Richtcharakteristik erzielt werden. Die Größenordnung der Magnete und die Hochfrequenz wird dabei derart gewählt, daß der "Abstrahlungswinkel" des im Material anzuregenden Ultraschallsignals die Ebene 7 an der Unterseite der Permanentmagnete 36 streifend liegt. Durch die räumliche Verschiebung der die Transversalwellen anregenden "Ultraschallquellen" aus Permanentmagneten und Hochfrequenzspulen um ein Viertel der Wellenlänge, die man aufgrund der bezüglich der Grundlinie 38 verschobenen Permanentmagnetanordnung erhält, ergibt sich in der einen Abstrahlrichtung eine Phasendifferenz der Signale um  $180^\circ$ , d. h. Auslöschung der Signale, in der anderen Abstrahlrichtung eine konstruktive Überlagerung der Signale mit einer Phasendifferenz von 0 bzw.  $360^\circ$ .

Bei der in Fig. 6a und 6b dargestellten letzten Ausführungsform weist der elektromagnetische Ultraschallwandler 42 eine auf einen magnetisch leitfähigen Ringbandkern 43 gewickelte Hochfrequenzspule 44 auf. Der Ringbandkern 43 ist dabei oberhalb einer Anordnung mehrerer Reihen von Permanentmagneten 45 alternierender Polbelegung angeordnet, wobei er diese mit seinen Schenkeln 46, 46' seitlich umgibt. Mittels dieses elektromagnetischen Ultraschallwandlers 42 werden die zur Schallanregung nötigen Wirbelströme indirekt in die Materialoberfläche durch die Einprägung dynamischer Hochfrequenz-Magnetfelder eingekoppelt.

Mittels des in der Fig. 4 dargestellten elektromagneti-



schen Ultraschallwandlers, der erfindungsgemäß zwischen den Polschuhen einer Streufluß-Magnetisierungseinheit angeordnet ist, kann ein Meßsignal entsprechend dem in Fig. 8 dargestellten mit einem hohen Signal-Rausch-Abstand erreicht werden. Bei herkömmlichen Vorrichtungen erhält man aufgrund des Barkhausen-Rauschens lediglich ein Meßsignal wie das in Fig. 7 dargestellte.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Prüfung ferromagnetischer Materialien, wie Rohrleitungen oder dergleichen, auf Fehler, Risse, Korrosion oder dgl., mit einer in Verbindung mit einem Magnetfeld als elektromagnetischer Ultraschallwandler dienenden Hochfrequenz-Stromspule zur Anregung und/oder Detektion von Ultraschallwellen in der Materialwandung, **dadurch gekennzeichnet**, daß der elektromagnetische Ultraschall-Wandler (9, 11, 12, 17, 23, 31, 42) mittig zwischen den beiden Polbereichen (5, 5', 6, 6', 14, 14') einer Magnetisierungseinheit (3, 4, 15) angeordnet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß elektromagnetische Ultraschall-Wandler (9, 11, 12, 17, 23, 31, 42) zwischen den Polbereichen (5, 5', 6, 6', 14, 14') einer zur Streuflußmessung dienenden Magnetisierungseinheit (3, 4, 15) angeordnet ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Polbereiche (6, 6', 5, 5', 14, 14') der Magnetisierungseinheit (3, 4, 15) erzeugte Vormagnetisierung der Materialwandung (2) zur Einstellung des Arbeitspunktes des elektromagnetischen Ultraschallwandlers (9, 11, 12, 17, 23, 31, 42) verwendet wird.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die den Ultraschallwandler (9) zwischen sich aufnehmenden Polbereiche bzw. Polschuhe (5, 5') der Magnetisierungseinheit (3) achsparallel zum zu prüfenden Material, insbesondere einer Rohrleitung (2) oder dergleichen, angeordnet sind.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die den elektromagnetischen Ultraschallwandler (11) zwischen sich aufnehmenden Polbereiche (5, 6') der Magnetisierungseinheit (3, 4) in Umfangsrichtung des zu prüfenden Materials (2), insbesondere einer Rohrleitung oder dergleichen, angeordnet sind.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstrahlrichtung des elektromagnetischen Ultraschallwandlers (9) senkrecht zur Feldrichtung der Magnetisierungseinheit (3) liegt.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstrahlrichtung des elektromagnetischen Ultraschallwandlers (11) parallel zur Feldrichtung der Magnetisierungseinheit (3, 4) liegt.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochfrequenzspule (13, 20, 28, 29, 30, 39) eine Luftspule ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochfrequenzspule (13, 20, 28, 29, 30, 39) eine Flachspule mit mäanderförmig verlaufenden Wicklungen ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch

gekennzeichnet, daß die Hochfrequenzspule (13) derart zwischen den Polbereichen (14, 14') angeordnet ist, daß die Drahtanteile (16) mit der größten Längsausdehnung im wesentlichen parallel zum horizontal verlaufenden Magnetfeld ausgerichtet sind.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler (17, 23, 31) eine Anordnung von Permanentmagnetsegmenten (18, 19, 24, 25, 26, 27, 32, 33, 34, 35, 36) alternierender Polbelegung und zumindest eine unterhalb der Permanentmagnetsegmente (18, 19, 24, 25, 26, 27, 33, 34, 32, 35, 36) angeordnete Hochfrequenzspule (20, 28, 39, 39') aufweist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler (17) eine Anordnung aus zwei Reihen (18) von Permanentmagneten (19) alternierender Polbelegung aufweist, auf denen eine Rechteckspule (20) angeordnet ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler (23) aus zumindest zwei Sätzen (24, 25, 26) in ihrer Ausrichtung schachbrettmusterartig verteilter Permanentmagnete (27) und jeweils unterhalb diesen angeordnete Hochfrequenz-Spulenelementen (28, 29, 30) besteht.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochfrequenz-Spulenelemente (28, 29, 30) zeitverzögert mit Signalen beaufschlagbar sind.

15. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler (31) eine Anordnung aus zumindest vier Reihen (32, 33, 34, 35) von Permanentmagnetsegmenten (36) aufweist, wobei zwei einander benachbarte Reihen (32, 33, 34, 35) von Permanentmagnetsegmenten (36) jeweils um ein Viertel der Periodizität der einzelnen Permanentmagnete (36) jeder Reihe (32, 33, 34, 35) entlang ihrer Längsachse verschoben sind und für jeweils benachbarte Reihen (32, 33, 34, 35) von Permanentmagneten (36) eine eigene Hochfrequenzspule (39, 39') vorgesehen ist.

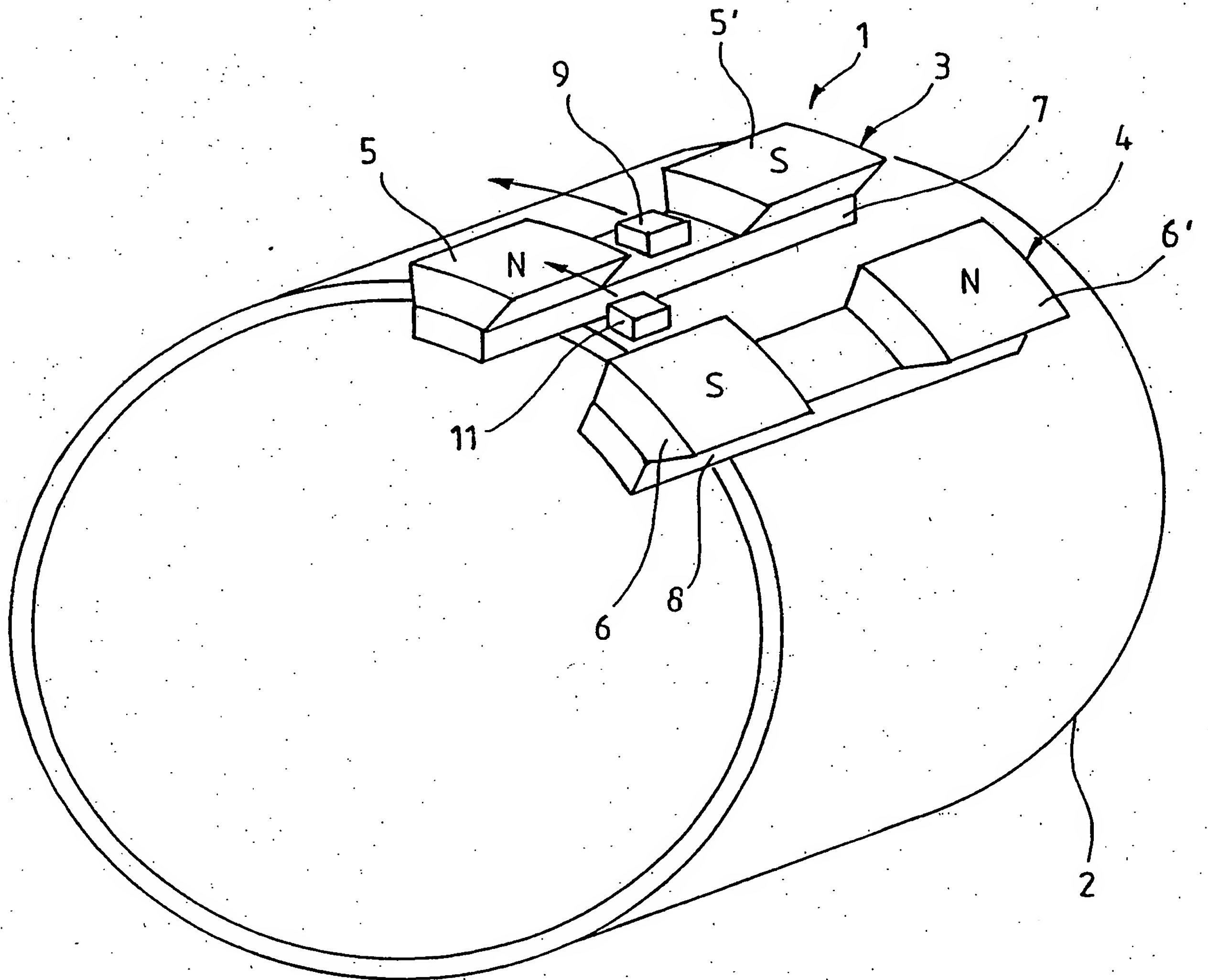
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Hochfrequenzspulen (39, 39') zueinander mit um 90° phasenverschobenen Signalen beaufschlagbar sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Hochfrequenzspulen (39, 39') ineinander verschachtelt sind.

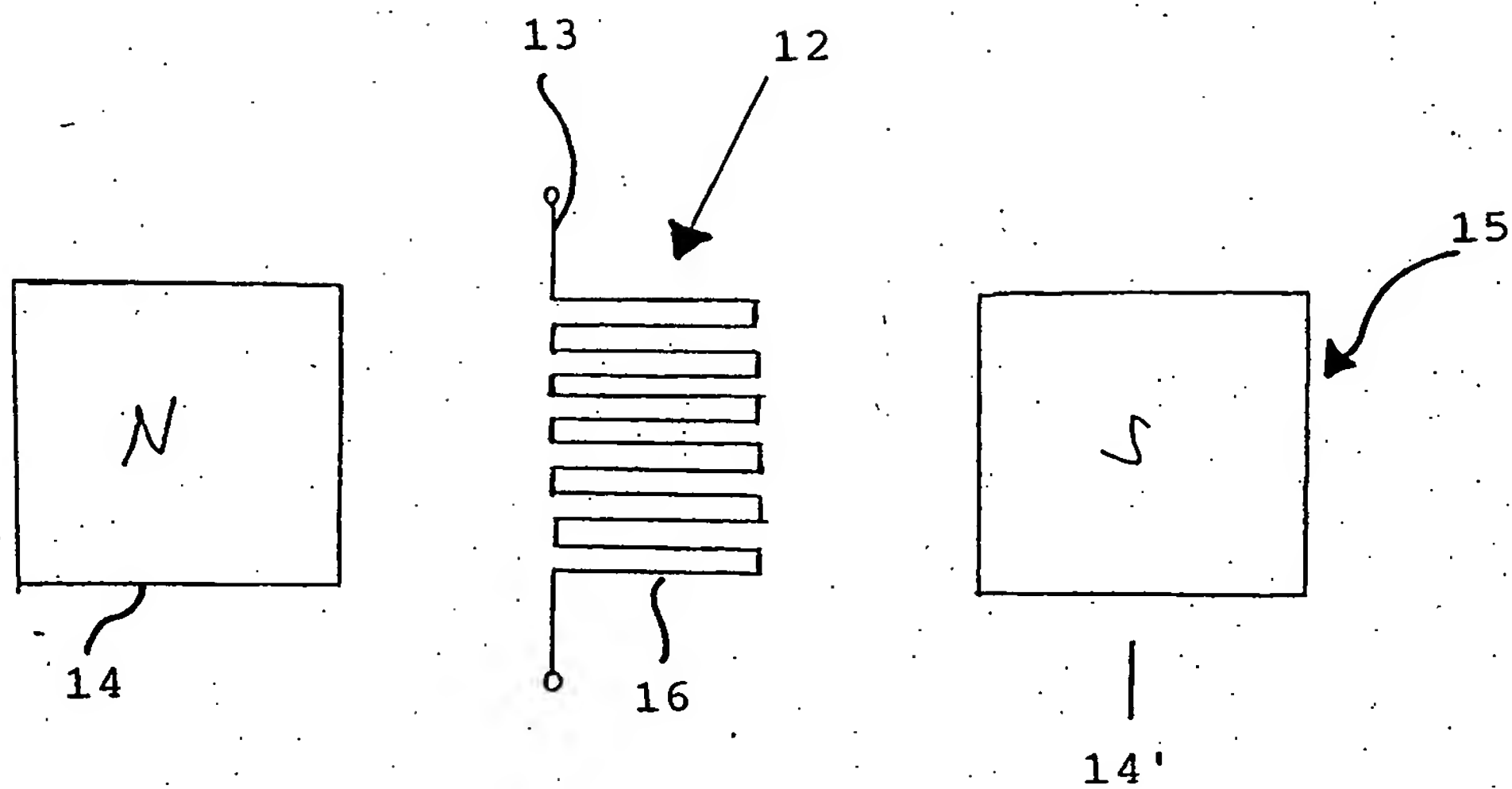
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der elektromagnetische Ultraschallwandler (42) eine auf einen magnetisch leitfähigen Kern (43) gewickelte Hochfrequenzspule (44) aufweist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern (43) ein Ringbandkern ist, der eine Anordnung mehrerer Reihen von Permanentmagneten (45) alternierender Polbelegung teilweise umgibt.

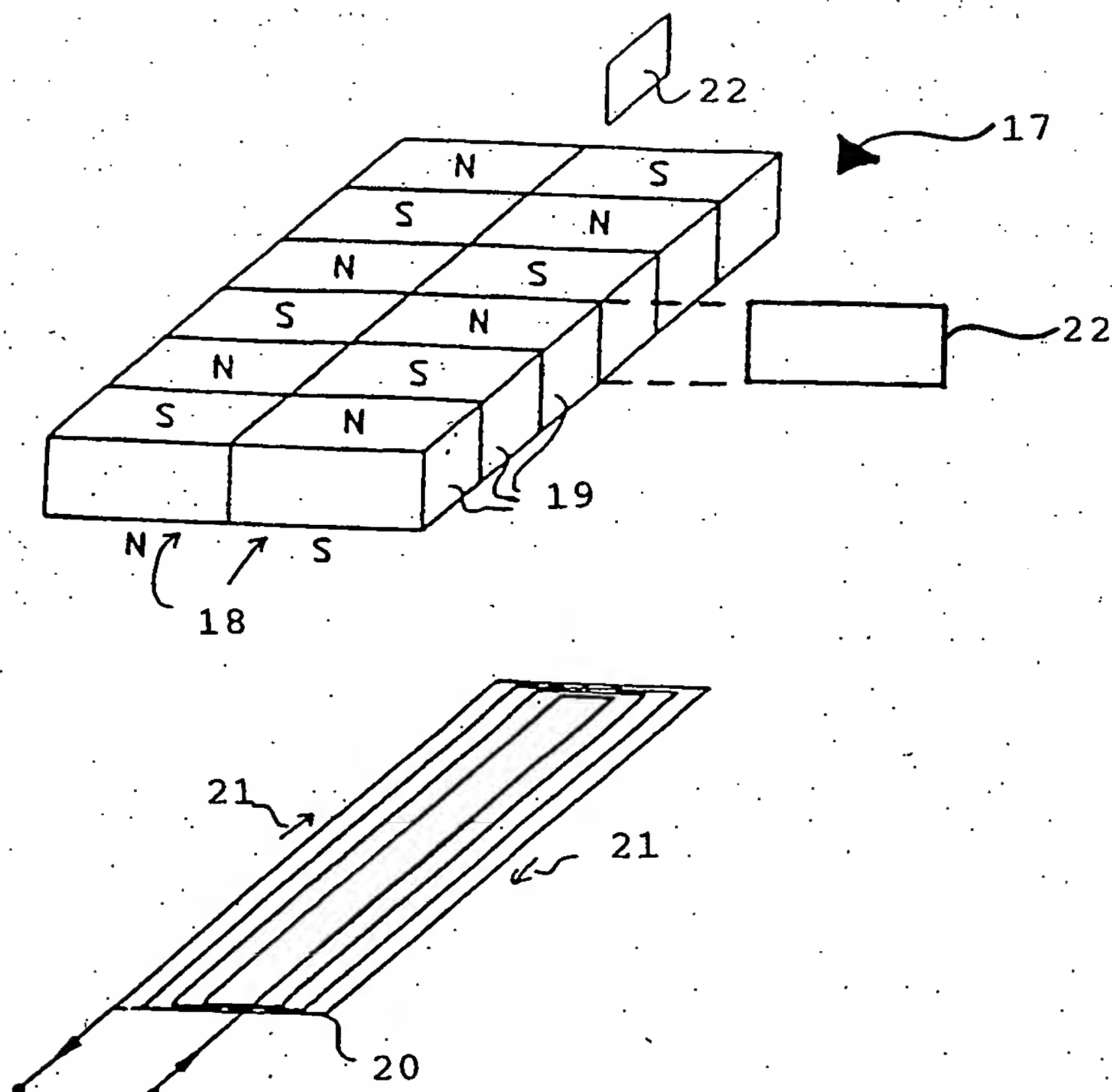
Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen



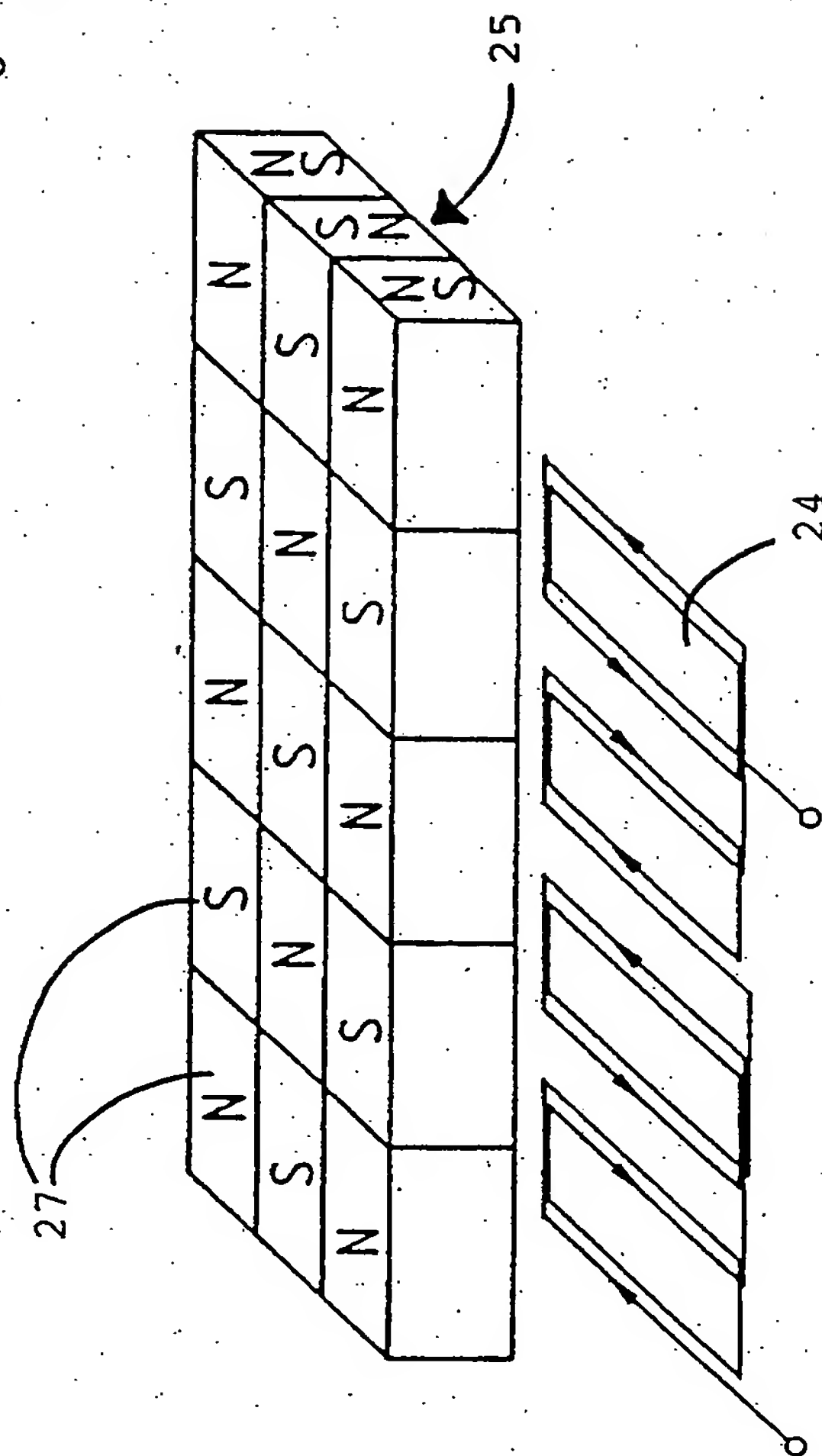
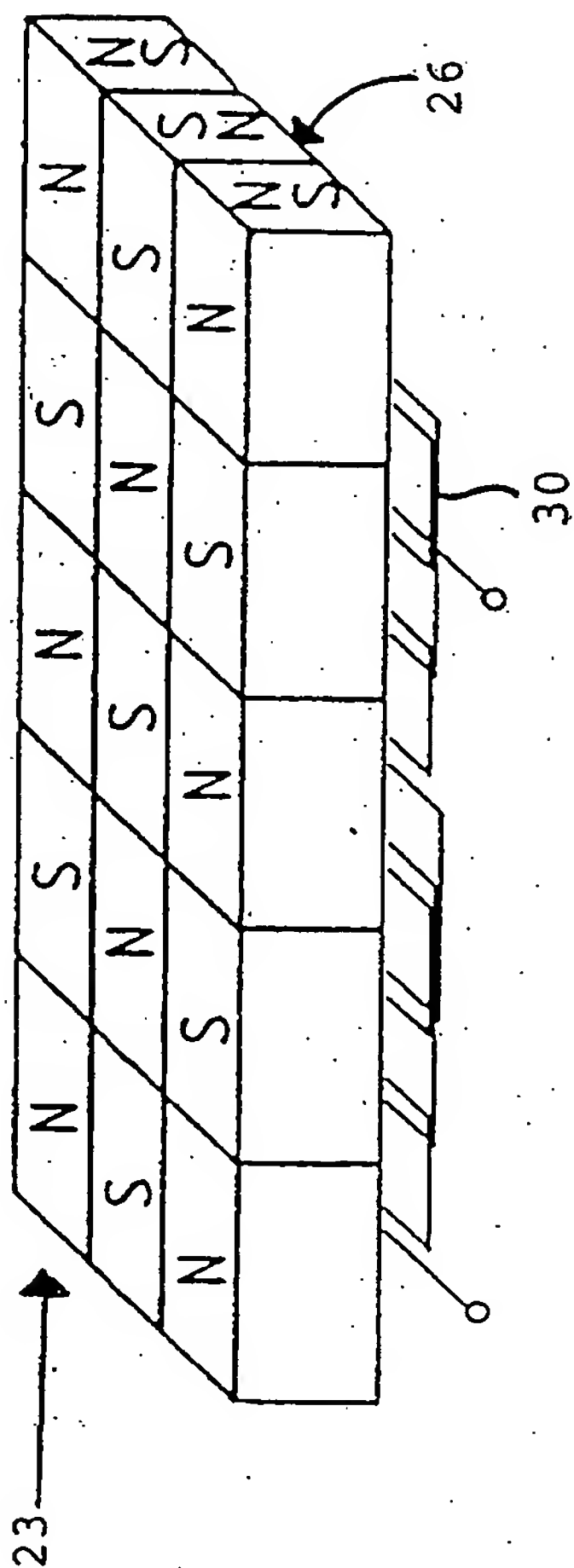
Figur 1



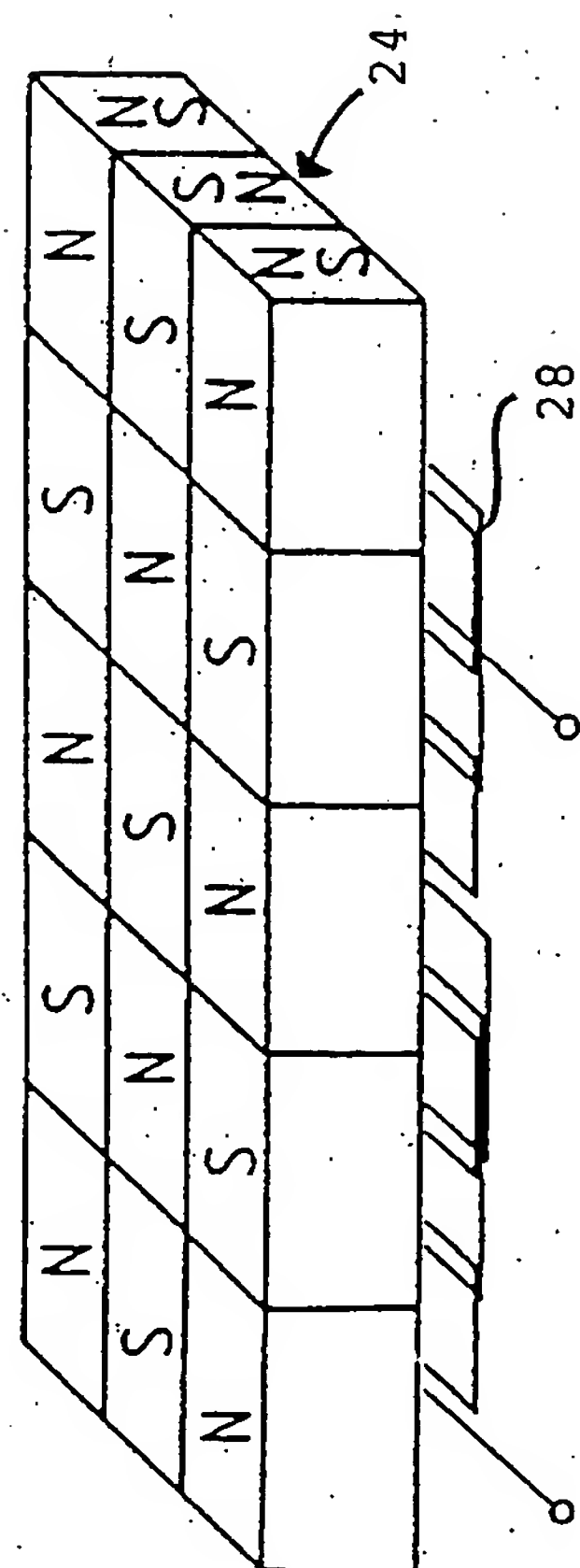
Figur 2



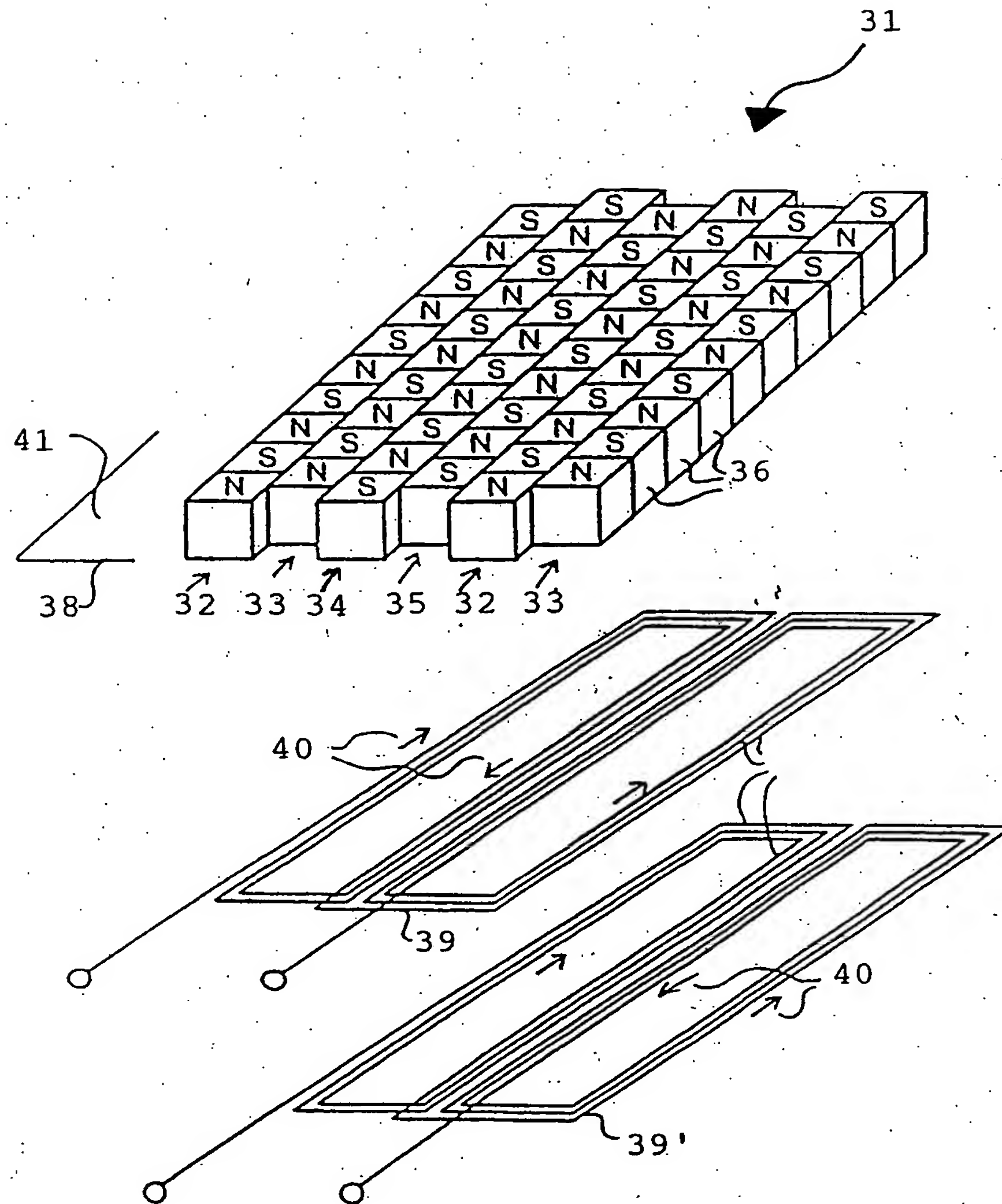
Figur 3



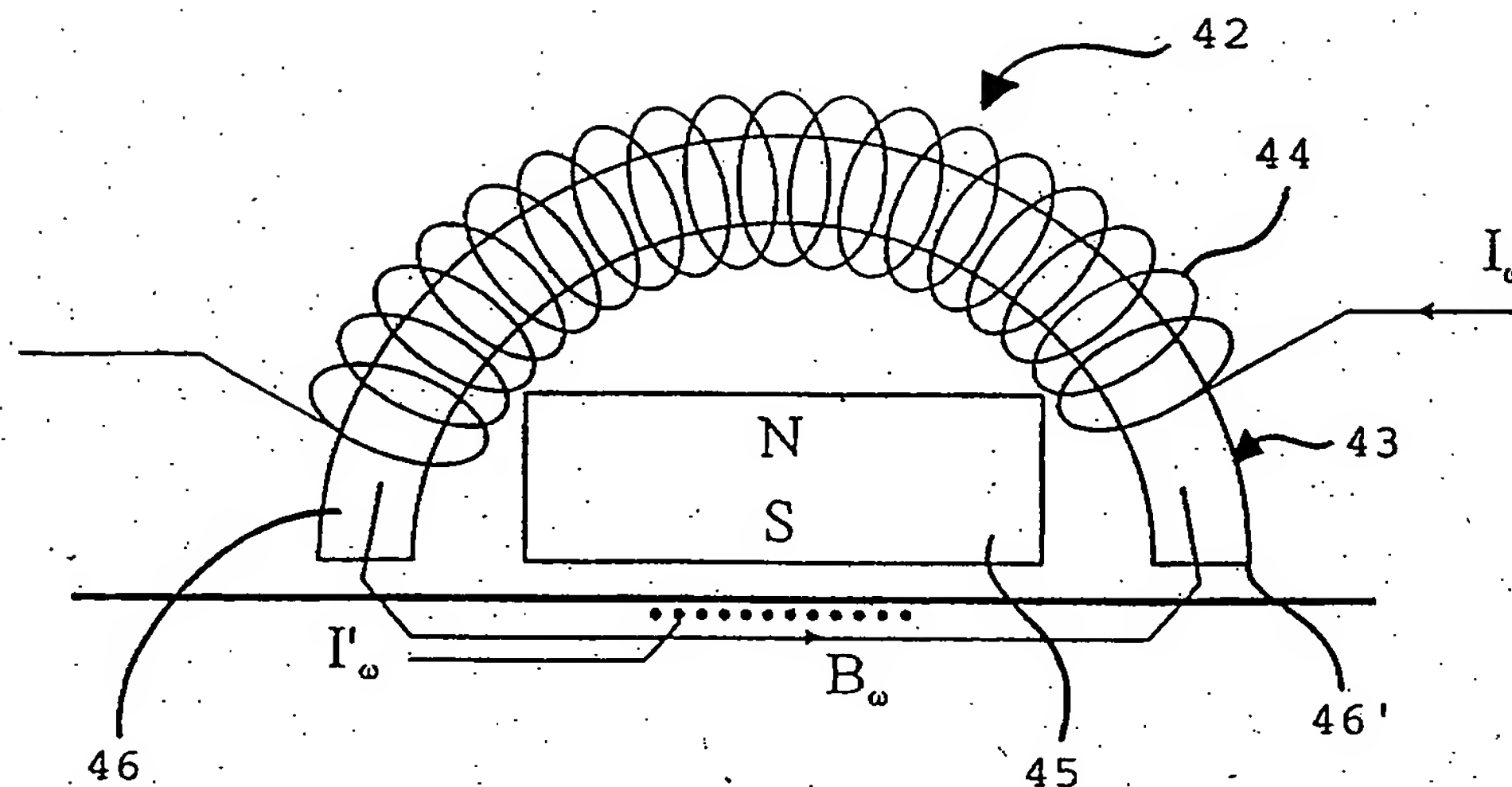
Figur 4



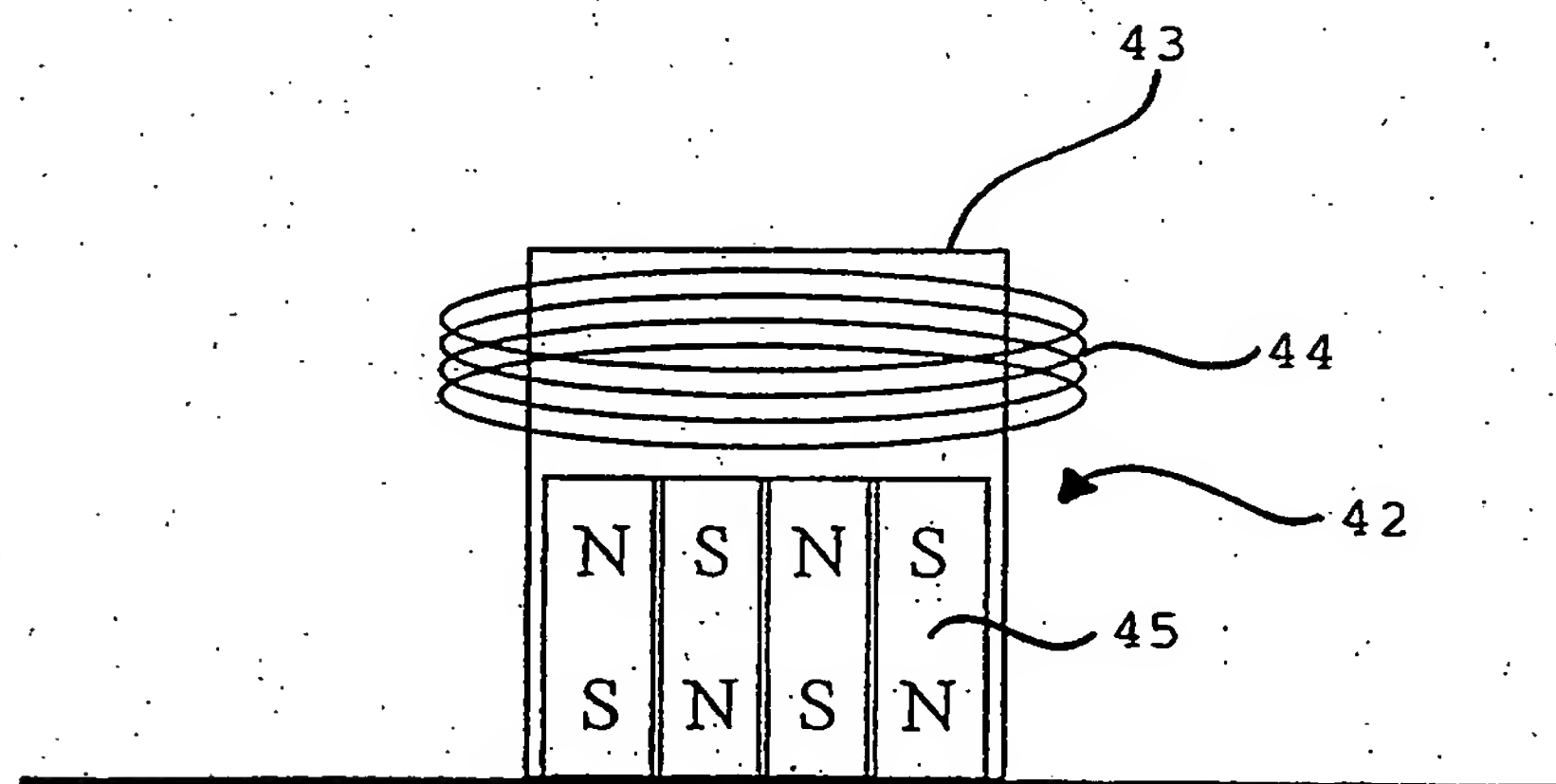




Figur 5

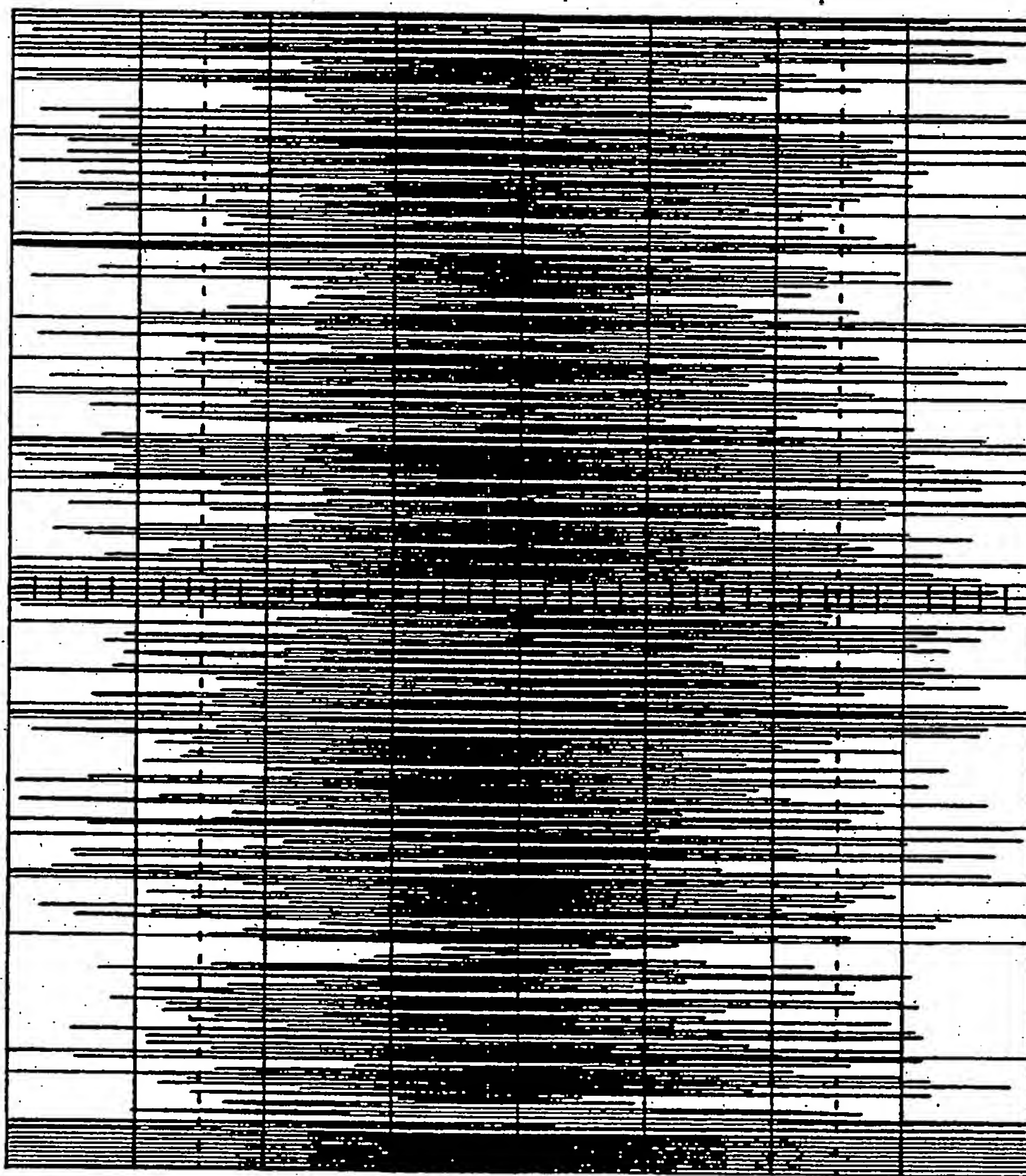


Figur 6a



Figur 6b

Fig. 7

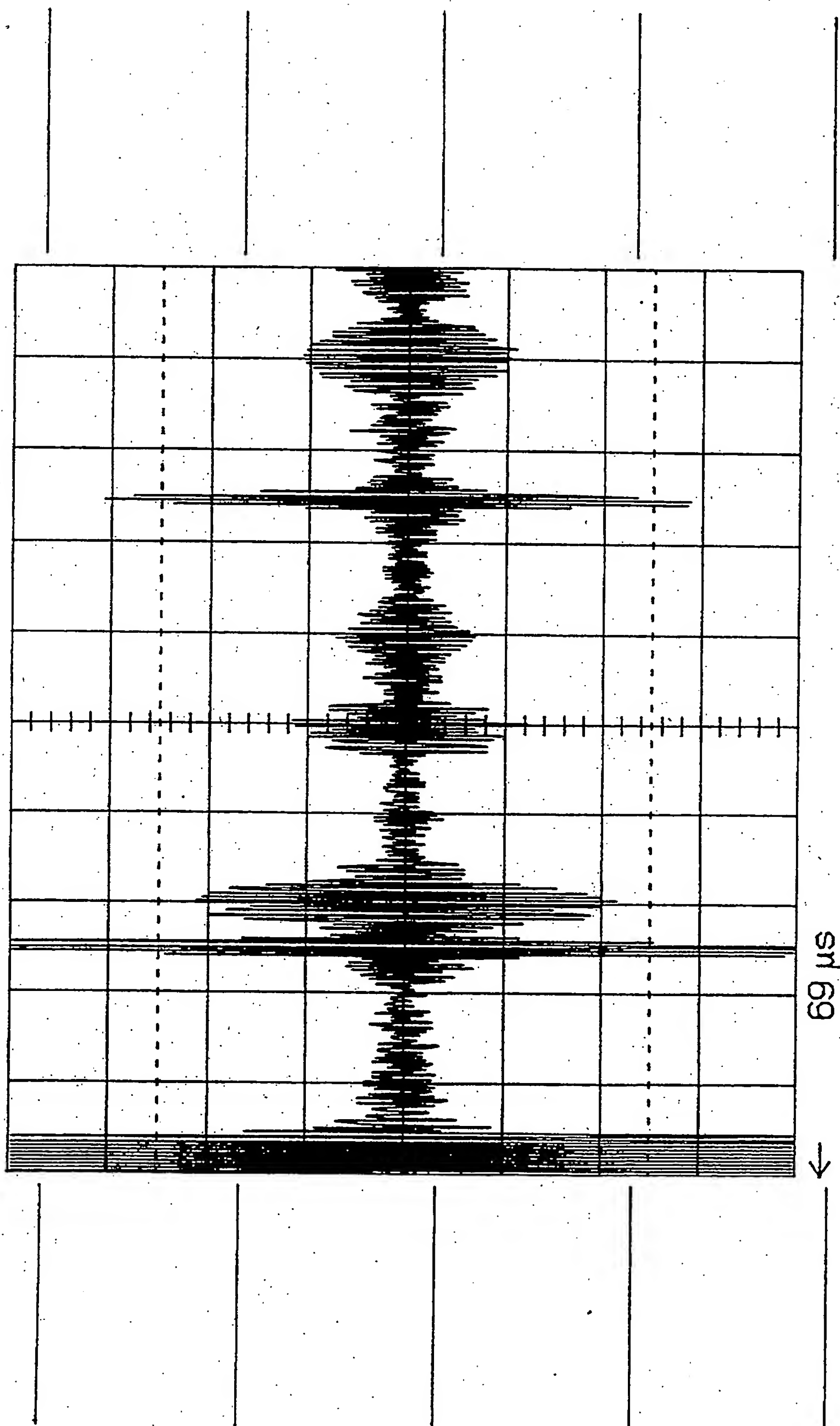


69 μs





Fig. 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**